Aus der Universitätsklinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten Würzburg
(Direktor: Professor Dr. R. Naujoks)

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE MECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN VON AMALGAM NACH UNTERSCHIEDLICHER OBERFLÄCHENBEARBEITUNG

Inaugural-Dissertation

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Gertrud Müller
aus Kronach

Würzburg, den 27. Januar 1982

Aus der Universitätsklinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten Würzburg
(Direktor: Professor Dr. R. Naujoks)

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE MECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN VON AMALGAM NACH UNTERSCHIEDLICHER OBERFLÄCHENBEARBEITUNG

Inaugural-Dissertation

verfaßt und der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Gertrud Müller
aus Kronach

Würzburg, den 27. Januar 1982

Referent:	Priv. Doz. Dr. W. Wiedemann
Korreferent:	Prof. Dr. R. Naujoks
Dekan:	Prof. Dr. K.A. Bushe

Tag der mündlichen Prüfung: 25. Februar 1982

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Würzburg

MEINER LIEBEN MUTTER

MEINEM LIEBEN BRUDER

MEINER LIEBEN TANTE MARGARETE FIRSCHER

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543522_0059

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
I	Einleitung und Literatur	1
II	Aufgabenstellung	9
III	Material und Methodik	10
IV	Ergebnisse	20
V	Diskussion	42
Literaturverzeichnis		46

I EINLEITUNG UND LITERATUR

Das Amalgam, eines der gebräuchlichsten Füllungsmaterialien in der Zahnheilkunde, ist gleichzeitig auch eines der ältesten zahnärztlichen Werkstoffe. Bereits 1818 veröffentlichte als erster Louis Regnard eine "primitive" Amalgamlegierung zur Verwendung als zahnärztliches Füllungsmaterial. Sie schmolz schon bei 68°C. Um 1850 hatte ein typisches Amalgamalloy, das für Zahnfüllungen verwendet wurde, folgende Zusammensetzung:
40% Silber, 5% Kupfer und 55% Zinn. Es wies eine relativ bescheidene Bruchfestigkeit mit gleichzeitiger großer Neigung zur Korrosion und Kontraktion auf. Im Zuge der technischen Entwicklung wurden die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Amalgams verbessert. Die amerikanische Bundesspezifikation von 1925 schlug folgende Zusammensetzung vor:

Silber	65 - 70 %
Zinn	26 - 29 %
Kupfer	3 - 6 %
Zink	0 - 2 %
Hg max.	3 %

Diese Zusammensetzung ist - bis auf geringfügige Änderungen im Quecksilbergehalt - beibehalten worden.

Mit der Verwendung von Amalgam als Füllungsmaterial stellt sich auch die Frage nach der Oberflächenbeschaffenheit der Füllungen und ihrer Nachbehandlung. Auf die Notwendigkeit einer Politur wird in der Literatur wiederholt hingewiesen (1, 3, 5, 7, 11, 13, 14, 15, 20, 22, 27, 28, 30, 33, 35).

Einige Autoren, RIETHE (28), WING (35) und HELBIG (14) halten aus folgenden Gründen eine Politur für nötig. Einmal verbessert sie die anatomische Form und glättet die Oberfläche. Dadurch wird die Belagsbildung und die Retentionskapazität von Speiseresten vermindert.

Sie entfernt überstehende Ränder und schafft glatte Übergänge von der Füllung zum Zahn, verbessert dadurch den Randschluß und vermindert Sekundärkariesbildung. Sie setzt die elektrolytischen Effekte und damit die Korrosion herab. Außerdem hat die Politur eine Härtesteigerung zur Folge. Sie dient der Vermeidung von Verfärbungen und wird aus kosmetischen und ästhetischen Gründen angewandt.

CHARBENEAU (5) weist darauf hin, daß durch die Politur die Okklusion verbessert wird. Aufgrund der glatten Füllungsoberfläche kann die Verträglichkeit der Füllung mit ihrer oralen Umgebung, vor allem dem Weichgewebe, erhöht werden.

Auch soll, wie KANTOROWICZ (20) gefunden hat, eine gründliche Politur Homogenität in der Amalgamoberschicht erzeugen, wodurch der Widerstand gegen Anlaufen und Korrosion erhöht wird.

Ein wesentlicher Faktor für die Korrosion ist die Größe der freien Amalgamoberfläche. Durch die Politur wird diese Fläche kleiner. Je kleiner aber die Angriffsfläche für die Korrosionskräfte ist, d.h. je glatter sie ist, umso geringer wird auch die Korrosion sein (30). Die Poliermittel biegen bei den Metallen einen großen Teil der Schleifgrate um, drücken sie in die Vertiefungen und gleichen sie dadurch aus. Gleichzeitig wird die Oberfläche verdichtet, homogenisiert und damit veredelt.

So stellt z.B. DREYER JØRGENSEN (16) fest, daß die Oberflächenrauhigkeit des Amalgams beeinflußt wird durch:
die Korngröße des Alloys (je größer das Korn, umso größer die Rauhigkeit),
die Anmischzeit (eine Verlängerung der Zeit hat eine Verkleinerung der Rauhigkeit zur Folge),
vom Alloy-Quecksilberverhältnis (je kleiner der Quecksilbergehalt, umso kleiner auch die Rauhigkeit).
Eine Merkurisierung, d.h. erneute Quecksilberzugabe, verkleinert ebenfalls die Rauhigkeit. Durch großen Kondensationsdruck kann man

sie herabsetzen, während sie durch verspätete Kondensation wieder vergrößert wird. Speichelkontamination des Amalgams vergrößert die Rauhigkeit ebenfalls wesentlich.

Aber selbst bei der Beachtung aller Faktoren bei der Verarbeitung des Amalgams kann kein völlig homogener Füllungskörper erwartet werden. SCHOCH und LOEBICH (32) haben beobachtet, daß die Amalgamfüllungen stets porös sind. Diese Poren verschwinden beim Abbinden des Amalgams nicht, einerlei, ob das Amalgam dabei expandiert oder kontrahiert.

Das in üblicher Weise zubereitete und gestopfte Amalgam enthält zwischen 6 und 7 % Hohlräume. Der Grad der Porosität läßt sich durch einen höheren Stopfdruck kaum verringern, wenn dieser im klinisch gegebenen Rahmen bleiben soll. Erst durch kräftiges plastisches Verformen des Amalgams kann man einen Teil der Poren zuquetschen und so das spezifische Volumen des Probekörpers dem theoretisch zu erwartenden Wert annähern.

Wie bereits erwähnt, wird durch die Politur nicht nur die Oberfläche geglättet, sondern auch in ihrer mechanischen Eigenschaft verändert. HOPKINS (15), LEES (22) und BEYLBY (3) weisen nach, daß bei der Politur die Metallmoleküle an der Oberfläche umgruppiert werden. Dadurch entsteht eine unkristalline, verhärtete, hauchdünne Membran von etwa 1/3 Millionstel Millimeter (= 30 Atomlagen). Darunter befindet sich eine Schicht gerichteter Kristallite, die über dem ungestörten Untergrund liegen.

Da nach RIETHE (28) mechanische, chemische und elektrochemische Vorgänge die durch die Nachbehandlung erreichte Oberflächenstruktur stets verändern, ist eine regelmäßige Nachbehandlung angezeigt.

HELBIG (14), ALTHERR (1), DETTO (7), GREISEL (11) und REBEL (27) sehen diese Nachpolitur von allen Amalgamfüllungen in regelmä-

ßigen (halbjährig und/oder jährlich) Abständen vor.

Auch HAUBEIL (13) beobachtete die klinische Notwendigkeit, die Politur in gewissen Zeitabständen zu wiederholen, so daß er eine Politur in jedem Jahr empfahl.

Allerdings birgt das Polieren die Gefahr der Wärmeentwicklung in sich. Beim Polieren in praxi (2, 4, 6, 9, 10, 12, 14, 16, 17, 18, 19, 21, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 31, 34, 36) können Temperaturschwankungen kaum vermieden werden. Und eine Erwärmung beeinflußt sowohl die Oberflächenstruktur als auch die Gesamtstruktur und damit die mechanischen und chemischen Eigenschaften des Amalgams. HELBIG (14), FISCHER (9), KERESZTESI (21) und STRASSBURG (34) stellten in ihren Untersuchungen fest, daß Amalgame hinsichtlich ihrer Härte gegenüber Temperatureinwirkungen sehr empfindlich sind.

JØRGENSEN (16) berichtet, daß die Amalgamfestigkeit stark fällt mit steigender Temperatur, vor allem, wenn die Temperatur zwischen ca. 58 und 91 ^{o}C liegt, also im Schmelzbereich des Amalgams. Die ursprüngliche Festigkeit kehrt jedoch wieder zurück. Bei kurzfristiger Erwärmung auf 80 ^{o}C erreicht das Amalgam schon nach 4 Stunden, bei Erwärmung über 120 ^{o}C nach ca. 2 Tagen seine Ausgangsfestigkeit wieder.

Dieselben Beobachtungen machten auch DREYER-JØRGENSEN, OTANI, KANAI (19). Die Druckfestigkeit der Amalgame wurde durch Erwärmung wesentlich verringert, die Amalgamproben gewannen ihre mechanischen Eigenschaften nach Wiedererreichen der Ausgangstemperatur in relativ kurzer Zeit wieder.

Allerdings kann es auch durch Austritt von Quecksilber durch Temperatureinwirkung zu einer Enthomogenisierung des Kristallgefüges des

Amalgams kommen (CHRISTENSEN und DILTS (6), JØRGENSEN und KANAI (17)). Die Oberfläche wird korrosionsanfälliger und erhöht (JØRGENSEN, KANAI, OTANI (18)) das latente Risiko einer Fraktur (Kantenfraktur).

Nach BAUME (2) liegt die "kritische Temperatur" der Amalgame, bei der eine Enthomogenisierung des Kristallgefüges stattfindet, zwischen 60 und 65°C.

Auch HABU (12) und MITCHELL (23, 24) u.a. sehen eine Temperaturentwicklung über 65°C beim Polieren als kritisch an.

Erhöhte Temperaturen führen zu Gefügeschädigungen, die sich in Rissen, Brüchen oder in der Auskristallisation von Quecksilber äußern. RÖSER und SCHÜBEL (29) konnten diese Veränderungen aber erst bei einer Temperatur von 80°C nach einer Einwirkzeit von einer Minute beobachten.

SCHMIDT (31) bestätigte experimentell die Enthomogenisierung des Kristallgefüges und den Austritt von freiem Hg durch den Nachweis von Gefügeänderungen in Amalgamprüfkörpern bei Temperaturen zwischen 62 und 77°C.

Erstmals berichteten PAFFENBERGER (26), MITCHELL u.a. (23, 24) über den Austritt von freiem Quecksilber bei einer stärkeren Erwärmung einer Amalgamfüllung.

In wasserumschlossenen, oberflächennahen Amalgamschichten erfolgt schon bei einer Temperatur von 57°C eine mit bloßem Auge deutlich wahrnehmbare Anreicherung von Quecksilber. Bisher galt in der Literatur als kritische Temperaturgrenze für die Politur von Amalgamfüllungen 65°C. Diese dürfte nach den oben angegebenen Ergebnissen

von STRASSBURG und ÖZKAN (34) zu hoch gegriffen sein. Hinsichtlich der kritischen Temperaturen spielt die Anwesenheit eines feuchten Milieus offenbar eine große Rolle; denn ein Quecksilberaustritt an trockenen Prüfkörpern wird erst bei Prüfkörpertemperaturen von 70°C berichtet. Die Austrittstemperatur von Quecksilber hängt aber auch sehr eng mit der Zusammensetzung und dem Quecksilbergehalt der Feilung zusammen.

KANATAKE u.a. (19) fanden, daß sich bei einem quecksilberreichen Dosierverhältnis von 1,2 Teilen Hg zu 1 Teil Feilung auf der Amalgamoberfläche zusammenfließendes Quecksilber schon im Temperaturbereich zwischen 57 und 61°C zeigte. Lag der prozentuale Anteil von Hg unter 1,2, so setzte dieses Phänomen, bei gleichen äußeren Bedingungen, erst bei Erwärmungsgraden um 80°C ein. Die Quecksilberausscheidung war bei zinkfreien Amalgamen geringer als bei zinkhaltigen.

Die totale Zersetzungstemperatur liegt bei Temperaturen über 400°C (OMLOO u.a. (25)). Oberhalb dieser Temperatur zersetzt sich das Amalgam in Quecksilberdampf und Ag_3Sn-Pulver.

Neben der Beeinträchtigung der mechanischen Eigenschaften der Füllung kann durch die Wärmeentwicklung bei der Politur auch die Pulpa irritiert werden.

Bei der Untersuchung der Wärmeentwicklung beim Polieren mit verschiedenen Geräten stellten CHRISTENSEN und DILTS (6) experimentell eine zunehmende Temperaturerhöhung in der angegebenen Reihenfolge fest. Politur mit:
Steinen und Bürsten,
groben und feinen "cuttle disk",
Gummikelchen mit angerührtem Bimsstein,

Gummikelchen mit Polierpasten,
Gummischeiben
Die Temperaturerhöhung in der Füllung hat aber auch eine Temperaturerhöhung in Schmelz, Dentin und Pulpa des Zahnes zur Folge und kann vor allem in der Pulpa zu Läsionen führen.

Um das Ausmaß der Erwärmung zu bestimmen, goß BRADEN (4) heißes Wasser auf die Oberfläche von Amalgamfüllungen, die 4 mm tief waren und auf einer Zink-Phosphat-Zementschicht von 0,2 mm Stärke lagen. Innerhalb von 15 sec war die Temperatur an der Grenzfläche Dentin/Unterfüllung auf 80% der ursprünglichen Temperaturdifferenz zwischen Zahn und Wasser angestiegen.

ZACH und COHEN (36) konnten mit Experimenten an Affen zeigen, daß der Schweregrad thermisch verursachter Pulpaläsionen mit der intrapulpalen Temperatur zunimmt. Sie stellten einen irreversiblen Schaden bei einer Temperatur von 41,5°C in der Pulpa fest. Diese Ergebnisse stimmen mit früheren Versuchen an Ratten überein.

Um die Temperaturerhöhung beim Polieren von Füllungen niedriger zu halten, bietet sich unterbrochenes Polieren an. GRAJOWER, KAUFMAN und RAJSTEIN (10) fanden, daß bei unterbrochenem Polieren die Temperaturerhöhung um ca. 30% geringer ist. Beim unterbrochenen Polieren vitaler Zähne könnte die Temperatur noch niedriger liegen, da durch die Blutzirkulation Wärme abgeführt wird. Bei gleichen Nettopolierzeiten kommt dem Wärmeabtransport durch die Blutzirkulation bei der intermittierenden Politur größere Bedeutung zu.

Die Temperaturerhöhung hängt auch von der Umdrehungszahl des Poliergerätes ab. KERESZTESI (21) fand, daß bei etwa 2000 Umdrehungen/Min. und mit leichtem Handdruck (200 g) sowohl mit Rosen-

bohrer als auch Karborrundsteinchen eine Erwärmung an der Amalgam-Dentingrenze auf etwas über 40°C auftrat. Wird jedoch das Karborrundsteinchen mit stärkerem Handdruck (400 - 500 g) angewendet, so steigt in 25 sec. die Temperatur bis auf 40°C.

Die Verwendung eines mittelharten Gummipolierers bei trockenen Amalgamoberflächen führt auch bei intermittierender Arbeitsweise und nur geringem Handdruck (200 g) nach zunächst relativ langsamem Temperaturanstieg nach 30 sec. auf Werte über 45°C und nach weiteren 30 sec. auf Werte zwischen 55 und 60°C. Bei Erhöhung der Umdrehungszahl auf Werte zwischen 4000 bis 6000 Umdrehungen/Min. oder etwas höherem Arbeitsdruck können innerhalb weniger Sekunden Temperaturen von über 70°C erreicht werden, die auch bei intermittierender Arbeitsweise noch eine Steigerung auf 80-85°C erfahren. Bei unbedachtem Vorgehen können sogar Temperaturen von 100°C erreicht werden. Diese hohen Temperaturen können durch Anfeuchten oder Verwendung von Schlämmkreide oder Bimsstein aufgrund des feuchten Milieus vermieden werden.

Nach EICHNER (8) soll die Politur frühestens nach 24 Stunden durchgeführt werden. Durch die Politur soll eine beträchtliche Härtesteigerung erreicht werden. Durch ein Verschließen der Poren wird das Eindringen des Elektrolyts (Speichel) in die Legierung erschwert bzw. verhindert. Das Haften organischer Beläge auf der polierten Oberfläche wird erschwert und damit einer Korrosion weitgehend vorgebeugt.

Klinisch kommt es zu einer Verbesserung der anatomischen Form und zur Schaffung glatter Übergänge zwischen Füllung und Zahn-Hartsubstanz (Randschluß). Hierdurch wird Verfärbungen, Belagsbildungen, Retentionen von Speiseresten und somit auch einer sekundären Karies und entzündlichen Vorgängen im marginalen Parodontium vorgebeugt.

II. AUFGABENSTELLUNG

Aus der angeführten Literatur geht hervor, daß eine Politur notwendig ist. Gleichzeitig wird immer wieder auf die Gefahren der bei der Politur entstehenden Reibungswärme aufmerksam gemacht.

Aufgabe dieser Studie war es, die Temperaturen bei den in der zahnärztlichen Praxis angewandten Poliertechniken zu messen. Im Anschluß daran wurden die oberflächenbearbeiteten Amalgamproben hinsichtlich Härte und Rauhigkeit untersucht.

III. MATERIAL UND METHODIK

A) Füllungen

Zunächst präparierten wir 2 extrahierte Prämolaren nach Black Klasse 2 (mesial, okklusal, distal) und stopften sie mit Amalgam. Eine Unterfüllung hatten wir nicht gelegt. Wir verwendeten Amalgamkapseln (Amalcap F 3) von der Firma Vivadent Schaan-Lichtenstein, Degussa Special Alloy, die im Silamat 5 sec lang angemischt worden waren. Um eine Änderung der Wärmeleitfähigkeit der Zähne während der Lagerung ausschließen zu können, waren sie stets feucht aufbewahrt worden. Der Kavitätenboden lag etwa 2 mm im Dentin. Von bukkalwärts her bohrten wir in die Amalgamfüllung ein Loch von 0,6 mm Durchmesser, das zur Aufnahme der Temperaturmeßsonde bestimmt war. Die in dieser Weise präparierten Zähne betteteten wir dann bis zur Schmelz-Zement-Grenze in blauen Hartgips ein. Die Temperaturmeßsonde wurde in das Bohrloch eingeführt und an dem Gipsblock mit Leukoplast befestigt. Um optimalen Wärmekontakt zwischen Sonde und Füllung zu garantieren, war das Bohrloch mit Glycerin gefüllt.

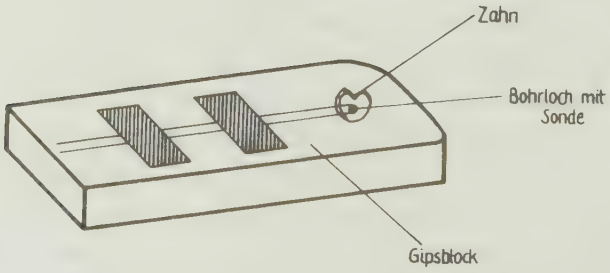

Abb. 1: In den Gipsblock eingebetteter Zahn mit Temperatur-Meßsonde

B) Temperaturmeßsonde

Die Temperaturmeßsonde wurde mit Hilfe eines Mikro-NTC-Widerstandes (Thermistor) mit großem negativem Temperaturkoeffizienten speziell für diesen Versuch hergestellt. Der NTC-Widerstand lag als "Mikrominiatursonde" (Firma Fenwall) mit einem Nennwiderstand von 25 kOhm bei 25°C vor. Der Durchmesser des Thermistors alleine betrug 0,3 mm. Er war in ein Glasröhrchen von 8 mm Länge eingeschmolzen, so daß die Mikrominiatursonde einen Außendurchmesser von 0,4 - 0,5 mm hatte. Die Anschlußdrähte des Thermistors waren etwa 20 µm dick. Diese Sonde versahen wir für unseren Zweck noch mit einem elektrischen Anschluß. Darüberhinaus mußte die mechanische Stabilität erhöht werden. Da die Anschlußdrähte des Thermistors nicht isoliert sind, waren wir gezwungen, beim Bau der Sonde die beiden Anschlußdrähte elektrisch zu isolieren. Wir versuchten es zunächst durch Lackieren der Anschlußdrähte mit einem Polyimidlack, der mit einem feinen Pinsel unter dem Mikroskop aufgetragen wurde. Diese Art der Isolation mißlang, da infolge der Oberflächenspannung des Isomidlacks die Lackschicht sich stets zu kleinen Lackperlen zusammenzog. In den Abschnitten zwischen den Perlen war der Draht nach wie vor blank. Außerdem wurden durch die ungleichmäßig dicke Lackschicht und die Manipulation beim Lackieren die Drähte so stark mechanisch beansprucht, daß sie spätestens nach dem 3. Lackauftrag abbrachen. Eine räumliche Trennung der beiden Anschlußdrähte brachte schließlich Erfolg. Abbildung 2 zeigt die Verfahrensweise.

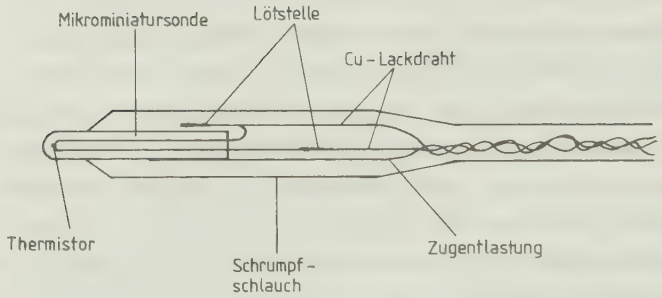

Abb. 2: Aufbau der Temperaturmeßsonde

Zwischen dem Anschlußkabel und der Sonde wurde als Verbindung ein 60 µm dicker Kupferlackdraht verwendet, der zur Zugentlastung mit einem schwarzen Nähfaden verdrillt war. Während der eine Anschlußdraht nach hinten weggeführt wird, ist der andere Draht zur Sondenspitze hin umgebogen und sehr kurz abgeschnitten worden. Die Kontaktierung erfolgte durch Anlöten der Anschlußdrähte an den Kupferlackdraht unter dem Mikroskop. Die Zugentlastung führten bis auf den Sondenglaskörper vor und klebten sie dort fest. Der Thermistor mit Anschlußdrähten und Zwischenstück wurde anschließend zur mechanischen Stabilisierung und der elektrischen Isolation in einen Schrumpfschlauch (Wandstärke nach dem Schrumpfen ca. 0,1 mm) eingeschrumpft. Danach entfernten wir den Schlauch etwa bis 3 mm hinter der Sondenspitze, um einen möglichst guten Wärmekontakt zwischen Thermistorperle und Meßmedium (in diesem Fall Amalgam) zu erreichen. Das Verbindungskabel zwischen Sonde und Meßgerät wurde durch eine Hochfrequenzlitze, die ebenfalls in den flexiblen Schrumpfschlauch einge-

schrumpft war, hergestellt.

Der Widerstandswert des NTC-Meßfühlers ist eine Funktion der Temperatur. Zur Temperaturmessung wurde der elektrische Widerstand des Meßfühlers bestimmt und mit Hilfe einer Eichkurve der entsprechende Temperaturmeßwert festgestellt. Um den Thermistorwiderstand zu messen, verwendeten wir eine Gleichstrompräzisionsmeßbrücke (Knaur). Die Brückenspannung betrug 0,2 V DC. Durch diesen niedrigen Wert erreichten wir, daß sich der Widerstandsmeßfühler durch den Brückenstrom nicht aufheizte. Zur Temperaturmessung diente uns nicht der absolute Widerstandswert, sondern die Verstimmung der Meßbrücke. Diese konnte kontinuierlich auf einem Schreiber registriert werden (Abbildung 3).

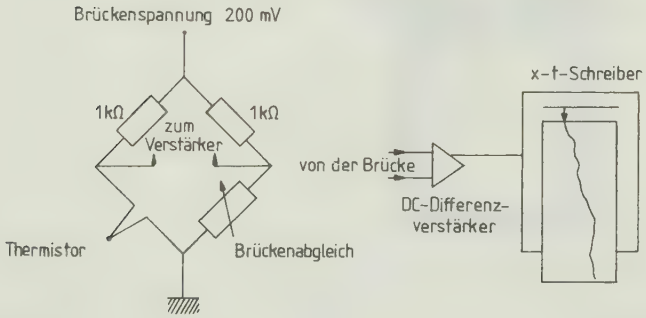

Abb. 3: Meßbrücke mit Meßfühler

C) EICHUNG DER SONDE

Die Verstimmung der Brücke wurde bei definierter Brückeneinstellung (6 - 000 ≙ 9,126 kOhm) mit einem Thermostaten in ^{o}C geeicht. Hierzu verwendeten wir eine Vorrichtung, die zur Eichung von NTC-Widerstandsmeßfühlern auf ca. 1/50 Grad absolut geeignet ist. Die Anordnung reduziert die Regelschwankung des Thermostaten von 0,03^{o}C auf ca. 0,001^{o}C. Der Aufbau ist in Abbildung 4 wiedergegeben.

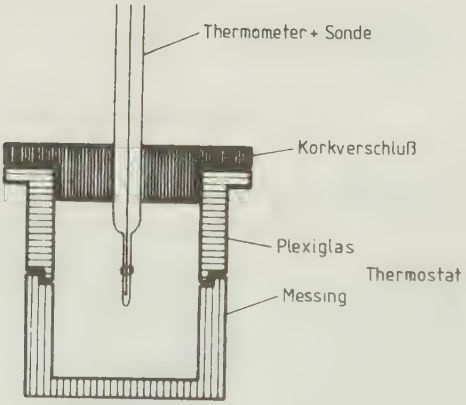

Abb. 4: Vorrichtung zur Eichung der Sonde

In einen Flüssigkeitsthermostat (± 0,03^{o}C) ist der Eicheinsatz eingehängt. Er besteht aus einem dickwandigen Messingzylinder (Wandstärke 1 cm), der durch ca. 2 cm Plexiglas vom Außenteil des Präzisionsthermostaten getrennt ist. Durch die große Wärmekapazität des Messingmantels reduzieren sich die Temperaturschwankungen im Thermostatenbad um mehr als eine Größenordnung. Die Sonde wurde mit einem Thermometer (Teilung 0,05^{o}C) in den Thermostateneinsatz eingeführt. Um Parallaxefehler zu vermeiden, verwendeten wir zur Ablesung des Thermometers ein waagerecht montiertes Einstellfernrohr mit sehr kleinem Gesichtsfeld.

Ausgehend von der Nullage der Brücke wurde die Sonde in 5 Grad Schritten im Temperaturbereich von 17 bis 95°C geeicht. Um dabei hinreichende Temperaturstabilität zu gewährleisten, wurde bei jedem Eichschritt der Meßwert erst nach 15 Minuten abgelesen.

Tab. 1: Werte der Sondeneichung

Temperatur in °C	Skalenteile der Brücke
17	-91,0
20	84,5
25	72,0
30	55,5
35	41,0
40	26,0
45	10,5
50	+ 4,0
55	19,0
60	32,5
65	43,7
70	57,0
75	68,0
80	78,5
85	88,0
90	96,5
95	größer 100,0

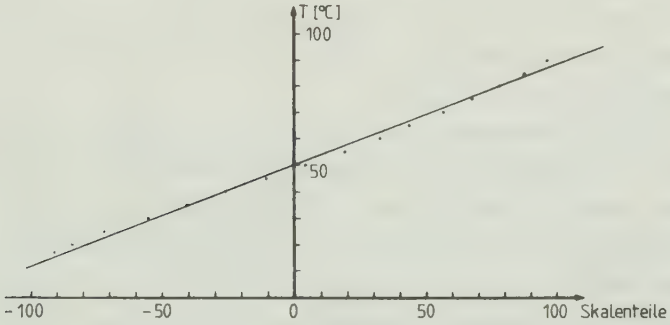

Abb. 5: Eichkurve

D) Ausführung der Politur

Die Politur nahmen wir an einem Siemens-Behandlungsstuhl vor, wobei der Drehbereich des Motors bei 4000-40000 Umdrehungen/min lag. An die Einheit schlossen wir ein Intrawinkelstück (Kavo) mit blauem Unterteil und grünem Reduzierkopf (Umdrehungsbereich 2000-20000) an. Um individuelle Unterschiede in der Poliertechnik auszuschalten, wurde die Politur von 5 verschiedenen Zahnärzten durchgeführt. Wir wählten von den in der zahnärztlichen Praxis angewandten Politurgeräten die gängigen:

Kugelfinierer ohne Spray
Kugelfinierer mit Spray
Filzkegel mit Bimsstein
Schwabbel mit Superpolish
Kugelpolierer ohne Spray
Kugelpolierer mit Spray
Roter (harter) Gummipolierer ohne Spray
Roter (harter) Gummipolierer mit Spray
Dunkelgrauer (mittelfeiner) Gummipolierer ohne Spray
Dunkelgrauer (mittelfeiner) Gummipolierer mit Spray
Hellgrauer (Hochglanz) Gummipolierer ohne Spray
Hellgrauer (Hochglanz) Gummipolierer mit Spray

Die Politur wurde jeweils eine Minute lang bei Umdrehungszahl 6 intermittierend durchgeführt, wobei die Probanden die Temperatursteigerung nicht sehen konnten.

Um die Polierergebnisse objektiv untereinander vergleichen zu können, mußte zusätzlich unter standardisierten Bedingungen poliert werden. Hierzu fertigten wir aus einem Baukastenset einen Hebel, an dem das Handstück befestigt und zur Politur auf die Amalgamfüllung abgesenkt werden konnte. Den Auflagedruck erzeugten wir durch definierte, ringförmige Gewichte, die auf einen am Handstück befestigten Dorn aufgelegt wurden. Wir führten nun alle vorher ge-

nannten Poliermethoden durch, wiederum eine Minute lang, nun aber bei Umdrehung 2 und 6.

E) Herstellen der Amalgamproben

Um die Polierergebnisse zu objektivieren, wurden neben Füllungen in Zähnen geeignete Amalgamproben poliert und die Oberflächenveränderung im Hinblick auf Rauhigkeit, Profil und Härte untersucht. Als Stopfform für die Amalgamprüfkörper dienten Metallrähmchen mit den Innenmaßen 1mal 2 cm, Höhe 3 mm. Dabei verwendeten wir dieselben Amalgamkapseln wie im ersten Versuchsteil. Die Rähmchen isolierten wir hauchdünn mit Vaseline und stopften das Amalgam portionsweise im Überschuß gegen eine Glasplatte. Das überschüssige Quecksilber trugen wir ab; den größeren Teil der Proben glätteten wir mit einem Spatel, den Rest bearbeiteten wir mit Watte und Wasser entsprechend der Gepflogenheit in vielen zahnärztlichen Praxen.

Beim Herauslösen der Amalgamproben aus den Rähmchen zersplitterte und zerbrach wegen der Expansion des Amalgams beim Aushärten ein großer Teil, so daß wir etwa doppelt so viele Prüfkörper herstellen mußten (50 Stück) wie wir für unseren Versuch vorgesehen hatten. Auf einer rotierenden Scheibe, die nacheinander mit Schleifpapier der Körnung 240, 320, 400 und 600 belegt wurde, glätteten wir mit Wasser als Kühl- und Schmiermittel die Oberflächen der Prüfkörper. Da die Oberfläche noch zu rauh erschien, bearbeiteten wir sie weiter mit einer Aufschwemmung aus Al_2O_3 (Körnung 1-7 µm) und Wasser auf einem Poliertuch aus Seide. Die Proben wurden dann an einer Trennmaschine mit Diamantsägeblatt und Wasserkühlung in jeweils 10 Blöckchen mit einer Kantenlänge von ca. 4 und 5 mm zerteilt. Anschließend betteten wir je 9 - 10 Blöckchen in Kunststoff (Paladur) zu runden Proben mit einem Durchmesser von 3,1 cm ein. Als Poliergeräte wählten wir Kugelfinierer, Kugelpolierer und Gummipolierer (grün = mittelhart). Die Politur selbst führten

wir mit einem Intrawinkelstück am Siemensbehandlungsstuhl bei Umdrehung 6 durch. Als Vergleich dienten die mit Al_2O_3 auf Seide polierten Proben. Daneben untersuchten wir auch eine Amalgamoberfläche, die nur mit Wasser und Watte behandelt worden war, wie es in Zahnarztpraxen häufig üblich ist.

An den noch nicht zersägten mit Al_2O_3 auf Seide polierten Amalgambarren bestimmten wir zunächst die Vickers-Härte mit einem Mikrohärte-Prüfer (Durimet, Leitz). Bei der Messung der Mikrohärte wird eine Diamantpyramide mit definierter Kraft in den Probekörper gedrückt. Die Mikrohärte ist durch die Eindringtiefe des Diamanten bestimmt. Sie wird aus der Diagonalenlänge des Eindruckes berechnet. Das Auflagegewicht betrug 0,5 N. Die Diagonalenlänge der Eindrücke wurde mit Hilfe des Okular-Mikrometers auf etwa 0,1 µm genau ermittelt. Um eine größere Genauigkeit zu erzielen, bestimmten wir jeden Wert zweimal und bildeten daraus den Mittelwert. Die Schwankungsbreite betrug dabei 0,2 µm.

Der Zusammenhang zwischen Vickershärte und Diagonalenlänge ist durch folgende Formel gegeben:

$$H_V = \frac{185440 \text{ mal } N}{d^2}$$

N = 0,5 Newton

d = Diagonalenlänge

Zur Beurteilung der Oberflächenfeingestalt wurde die Oberfläche jeder Probe mit Hilfe eines mechanoelektrischen Wandlers abgetastet. Dabei wurde in jeder Spur zuerst das Oberflächenprofil registriert, dann die mittlere Abweichung des Oberflächenprofils von einer "geraden Linie". Als "gerade Linie" betrachteten wir eine Grobwelligkeit, deren Wellenlänge 0,3 mm überschritt.

Eine mit Kugelfinierer polierte Oberfläche zeigt ausgeprägte Grobwelligkeit, wohingegen die Oberflächenrauhigkeit gering ist. Um ein Maß für die mittlere Rauhigkeit der gesamten Oberfläche zu erhalten, wurde die Rauhigkeitskurve planimetriert und durch die Länge der abgefahrenen Strecke dividiert.

IV. ERGEBNISSE

A) Temperaturanstieg in der Amalgamfüllung bei den verschiedenen Politurverfahren

A_1) Politurausführung durch Zahnärzte (praxisnaher Versuchsteil)

Bei den Poliervorgängen zeigte sich stets eine Temperaturerhöhung in der Füllung, die mit der Methode und dem Auflagedruck variierte. Auch der zeitliche Temperaturverlauf hing eng mit der Poliermethode zusammen.

Wegen möglicher Pulpenschädigung bei Überschreiten einer Temperatur von 41,5°C und Quecksilberaustritt bei 65°C (2, 12, 23, 24, 31) dienten diese beiden Temperaturwerte für die Beurteilung der Zulässigkeit der Politur.

Abb. 6: Politur durch H.D.: roter Gummi ohne und mit Spray

Abb. 7: Politur durch G.M.: mittelgrauer Gummi ohne und mit Spray

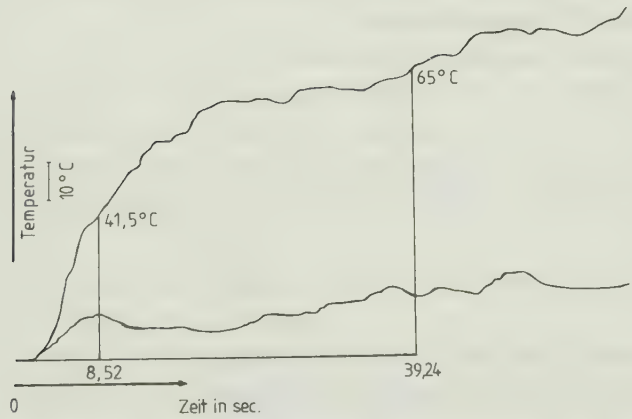

Abb. 8: Politur durch A.M.: hellgrauer Gummi ohne und mit Spray

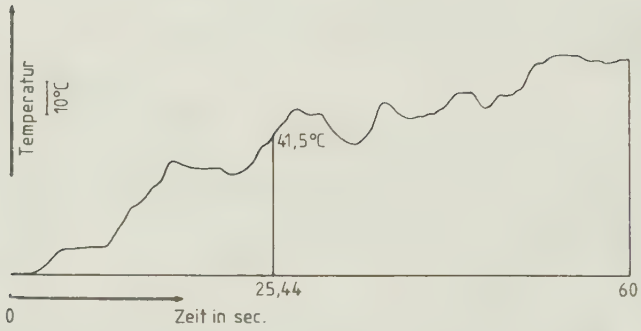

Abb. 9: Politur durch A.M.: Schwabbel und Superpolish

In der Tabelle 2 sind für den praxisnahen Versuchsteil die Zeiten in Sekunden angegeben, nach denen die kritischen Temperaturen 41,5°C und 65°C erreicht wurden.

(Tabelle 2 siehe Seite 22 dieser Arbeit)

Tab. 2: Zeit in sec bis zum Erreichen der kritischen Temp. 41,5°C und 65°C bei den verschiedenen Poliermethoden und einer Gesamtpolierdauer von 60 Sekunden

Temperatur °C	Gummipolierer						
	rot		mittelgrau		hellgrau		
	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	Spray
41,5	11,16	42,96	20,52	-	3,6	-	G.M.
65	15,96	-	43,44	-	10,08	-	
41,5	46,56	-	-	-	9,48	-	H.D.
65	-	-	-	-	17,28	-	
41,5	10,92	-	23,09	-	8,64	-	H.D.
65	26,4	-	-	-	27,89	-	
41,5	57,84	-	31,68	-	43,92	-	R.B.
65	-	-	-	-	-	-	
41,5	-	-	13,8	-	11,76	-	A.M.
65	-	-	33,6	-	24,0	-	
41,5	52,8	-	-	-	-	-	H.D.
65	-	-	-	-	-	-	
41,5	-	-	44,4	-	8,52	-	G.M.
65	-	-	-	-	39,24		

Jede Doppelzeile enthält die Ergebnisse eines Versuchsganges. In den Spalten werden die Zeitwerte für die einzelnen Poliergeräte bei Anwendung ohne und mit Spray angegeben. Die Namen der jeweils den Versuch durchführenden Personen sind in der letzten Spalte der Tabelle vermerkt.

Die Striche zeigen an, daß die kritischen Temperaturen 41,5°C oder 65°C nicht überschritten wurden.

Mit den Poliergeräten Kugelfinierer ohne und mit Spray, Kugelpolierer ohne und mit Spray, Filzkegel mit Bimsstein überschritt keine der Versuchspersonen eine der kritischen Temperaturen. Bei der Politurart Schwabbel mit Superpolish wurde nur ein einziges Mal die Tempe-

ratur von 41,5°C erreicht und zwar nach 25,44 Sekunden. Diese Politurverfahren fehlen daher in Tabelle 2.
Auffällig ist die sehr kurze Zeit, nach der der hellgraue Gummi bei allen Versuchspersonen die Temperaturen 41,5°C und 65°C übersteigt. Die Diagramme zeigen, daß bei diesem Poliergerät die höchsten Temperaturen zwischen 80 und 90°C erreicht wurden. Bei der Verwendung von Spray wurde die Temperatur von 41,5°C nur in einem Fall überschritten, jedoch nicht beim hellgrauen, sondern beim roten Gummipolierer. Diese Politur wurde allerdings absichtlich mit sehr hohem Andruck ausgeführt.

A_2 Politur unter standardisierten Bedingungen

Die Ergebnisse der Politur unter standardisiertem Auflagedruck sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tab. 3: Zeit in Sekunden bis zum Erreichen der kritischen Temperaturen 41,5°C und 65°C bei den verschiedenen Poliermethoden, unter verschieden definiertem Auflagedruck und einer Gesamtpolierdauer von 60 Sekunden

		Gummi rot			Gummi dunkelgrau			Gummi hellgrau			Filzk. Bimsst.	Schwabbel Superpolish
Auflagegew.	krit. Temp.	ohne Spray U2	ohne Spray U6	mit Spray U2/U6	ohne Spray U2	ohne Spray U6	mit S. U2/U6	ohne Spray U2	ohne Spray U6	mit S. U6	U6	U6
20 g	41,5°C	-	-	-	-	15,12	-	-	24,72	-	-	-
	65°C											
30,9g	41,5°C	-	-	-	-	6	-	23,76	6,36	-	-	-
	65°C					11,64			11,28			
61,9g	41,5°C	-	48,96	-	21,84	+	-	8,4	3,12	-	21,6	42,4
	65°C							15,36	7,92			
92,8g	41,5°C	-	21,36	-	11,28	+	-	5,52	+	19,2	12,84	8,16
	65°C				27,12			18,96				56,88
134,3g	41,5°C	57,36	9,24	-	6,84	+	-	4,32	+	+	12	15,36
	65°C		18,36		11,04			6				47,64

Auch hier wurde jedes Polierinstrument zuerst ohne, dann mit Spray angewandt.

Die Striche zeigen wie in Tabelle 2 an, daß die kritischen Temperaturen 41,5°C und 65°C nicht überschritten wurden. So erzeugten die Poliergeräte Kugelfinierer ohne und mit Spray, Kugelpolierer ohne und mit Spray bei U2 bzw. U6 auch bei erhöhtem Auflagegewicht keine der beiden kritischen Temperaturen. Die Kreuze in der Tabelle zeigen an, daß das Drehmoment des Motors nicht mehr für die Politur mit diesem Auflagedruck ausreichte.

Durch die Politur mit hellgrauem Gummi mit Spray bei U2, mit Filzkegel und Bimsstein bei U2 sowie Schwabbel-Superpolish bei U2 wurden bei keinem der Auflagegewichte die kritischen Temperaturen erreicht. Deshalb wurden diese Spalten in der Tabelle weggelassen.

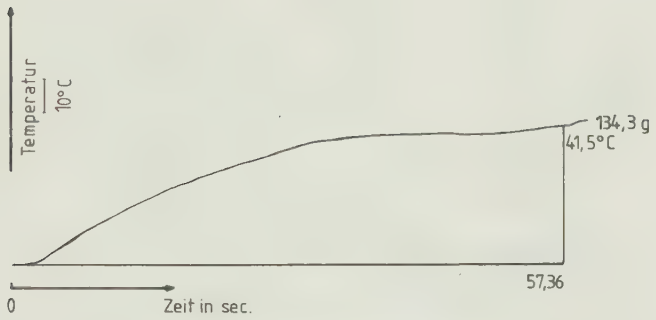

Abb. 10: Politur mit rotem Gummi ohne Spray bei U2

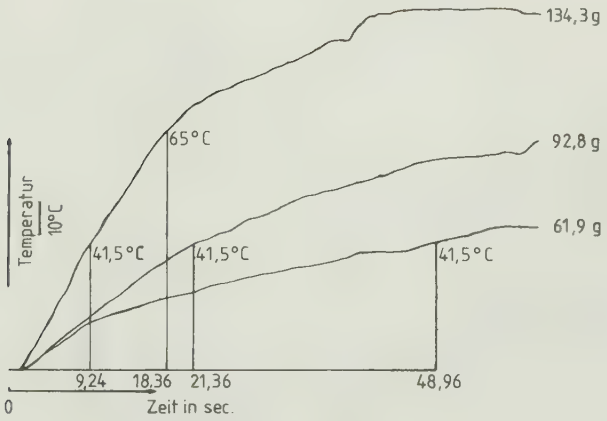

Abb. 11: Politur mit rotem Gummi ohne Spray bei U6

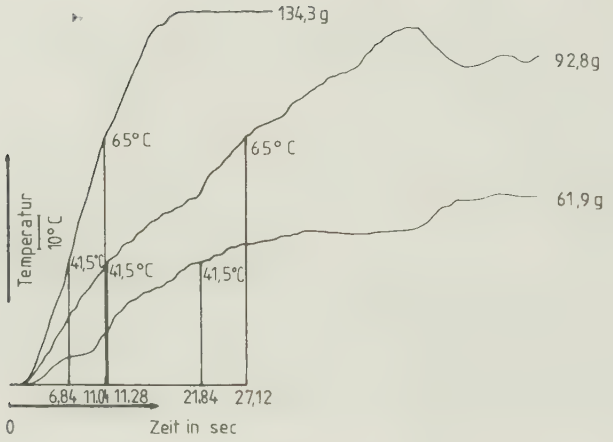

Abb. 12: Politur mit dunkelgrauem Gummi ohne Spray bei U2

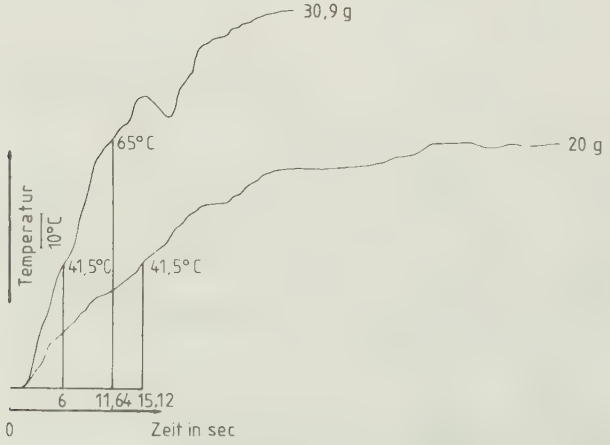

Abb. 13: Politur mit dunkelgrauem Gummi ohne Spray bei U6

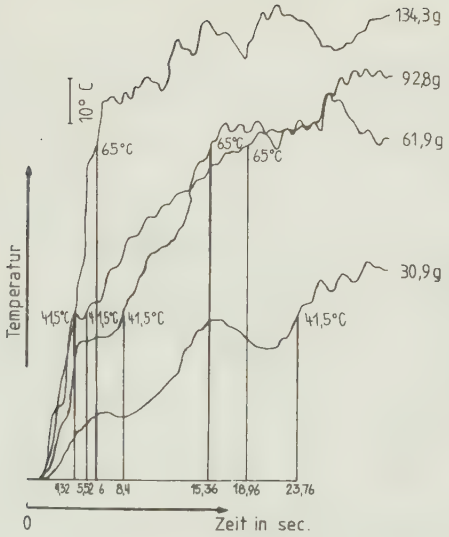

Abb. 14: Politur mit hellgrauem Gummi ohne Spray bei U2

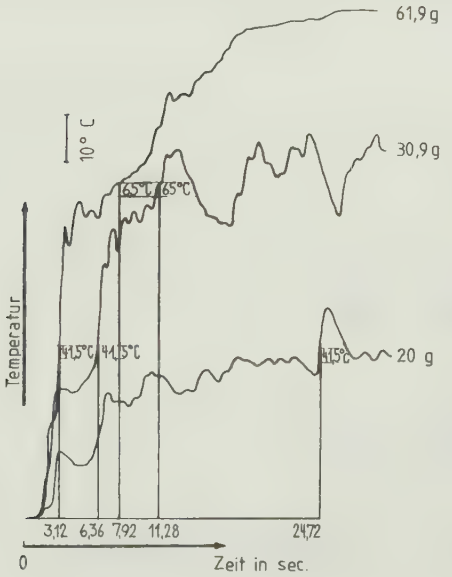

Abb. 15: Politur mit hellgrauem Gummi ohne Spray bei U6

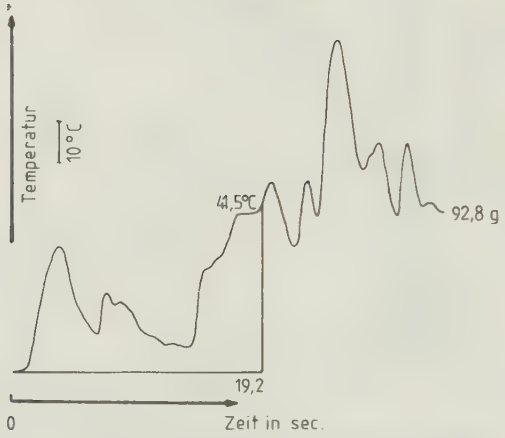

Abb. 16: Politur mit hellgrauem Gummi mit Spray bei U6

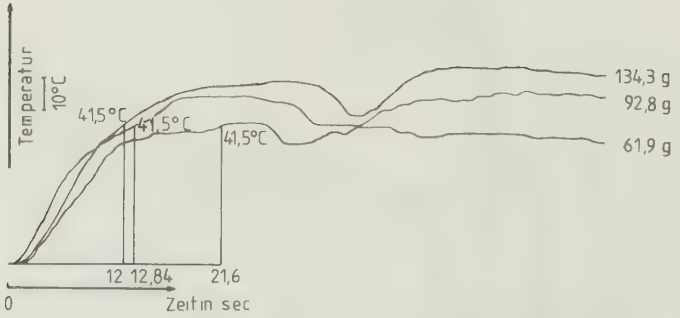

Abb. 17: Politur mit Filzkegel und Bimsstein bei U6

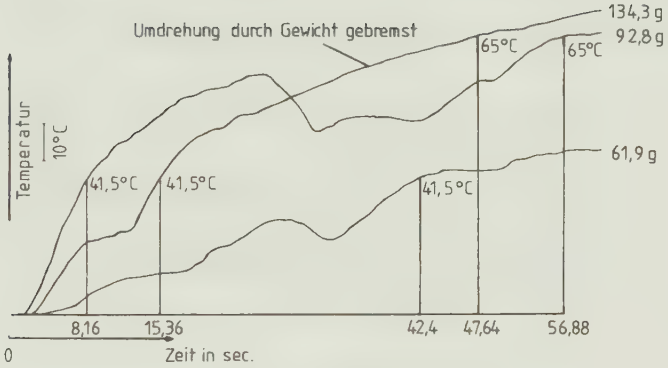

Abb. 18: Politur mit Schwabbel und Superpolish bei U6

B) Ergebnisse der Härtemessungen

In der Literatur wird wiederholt darauf hingewiesen, daß die Politur die mechanischen Eigenschaften der Amalgamoberfläche verbessert. In diesem Versuchsteil ist nun die Mikrohärte in Abhängigkeit der verschiedenen Oberflächenbearbeitungen geprüft worden.

Tab. 4 : Ergebnisse der Mikrohärtemessung nach verschiedenen Oberflächenbearbeitungen
Mittelwerte der Diagonalenlänge in µm, Standardabweichung, Vickershärte, Anzahl der Einzelmessungen und der Proben.
(Oberfläche mit Al_2O_3, Kugelfinierer, Kugelpolierer und Gummipolierer bearbeitet)

Art der Oberflächenbearbeitung	Al_2O_3	Kugelfinierer	Kugelpolierer	Gummipolierer
Diagonalenlänge	31,0160	29,9424	29,5552	30,6385
Standardabweichung	3,9765	3,3860	3,6322	4,3912
Vickershärte	96,3833	103,4190	106,1465	98,7730
Anzahl der Einzelmessungen	100	100	100	100
Anzahl der Proben	10	5	5	5

Die erste Zeile der Tabelle gibt die Mittelwerte der Diagonalenlänge wieder, die zweite Zeile die Werte der Standardabweichung und die dritte Zeile die Werte der Vickershärte. In der vierten Zeile ist die Anzahl der Einzelmessungen aufgeführt, die auf die in der fünften Zeile vermerkte Anzahl der Proben verteilt war.
Die mit Al_2O_3 bearbeiteten Amalgamproben dienten als Bezugspunkt für die nachfolgenden Oberflächenbearbeitungen.
Nicht aussagekräftig waren die Werte der Härtemessung der nur mit Wasser und Watte behandelten Proben (weder mit 0,5 N noch mit 1 N Auflagegewicht), weil zu starke Niveauunterschiede ein exaktes Ausmessen des Eindruckes unmöglich machten. Bei den seltenen vollständig erkennbaren Eindrücken (1:500) war die Tendenz festzustellen, daß die Eindringtiefe des Diamanten größer, d.h. die Härte geringer war.
Die Werte der Härtemessungen der mit Kugelfinierer und Kugelpolierer bearbeiteten Amalgamoberflächen unterscheiden sich signifikant von denen der mit Al_2O_3 polierten Oberflächen, die Oberflächenhärte hat also zugenommen. Dagegen konnte an den mit Gummipolierer bearbeiteten Proben keine signifikante Härtesteigerung festgestellt werden. Auffällig sind die großen Standardabweichungen. Die mikroskopische Untersuchung der mit Al_2O_3 bearbeiteten Oberflächen zeigen eine starke unterschiedliche Porosität zwischen den einzelnen Proben, obwohl stets Amalcap F_3 von ein und derselben Person gestopft worden war. Die unterschiedliche Porosität der Proben drückt sich in unterschiedlichen Härtewerten aus.

C Ergebnisse der Oberflächen-Profilmessungen

Eine Wirkung der Politur soll die Glättung der Füllungsoberfläche sein, um die Retetentionskapazität der Füllung mit all ihren negativen Folgen zu verringern. Ein objektives Maß für die Retentionskapazität stellen Oberflächenprofil und Rauhigkeit dar. Wir haben deshalb diese bei-

den Größen für die verschiedenen Polierverfahren bestimmt. Hierzu wurde eine Strecke von zwei Millimetern auf dem Amalgambarren abgetastet und auf einem Schreiber das Oberflächenprofil und Rauhigkeit registriert.

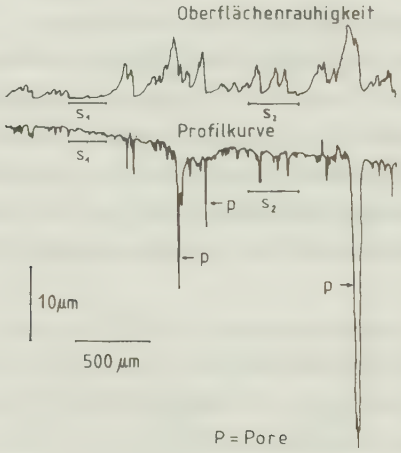

Abb. 19: Profil- und Rauhigkeitskurve einer mit Al_2O_3 bearbeiteten Amalgamoberfläche.

Das untere Diagramm zeigt die Profilkurve. In X-Richtung ist der Ort auf der Meßspur, in der Y-Richtung die Niveauhöhe angetragen. Deutlich heben sich einige größere Poren (mit P markiert) von der ansonsten sehr ebenen und glatten Amalgamoberfläche ab.
Im darüberliegenden Diagramm ist die Rauhigkeit der gleichen Spur aufgezeichnet. Die Poren stellen sich in dieser Meßkurve stets in großen Amplituden dar. Auch bei unruhigerem Profil vergrößert sich die Amplitude der Rauhigkeitskurve deutlich.
Die Fläche unter der Rauhigkeitskurve ist ein Maß für die mittlere Rauhigkeit und damit für die Retentionskapazität der untersuchten Amalgamoberfläche. Man vergleiche zum Beispiel die Kurven über den beiden Strecken s_1 und s_2.

C_1 Ergebnisse für die mit Al_2O_3 bearbeiteten Amalgamoberflächen

Verschiedene Rauhtiefekurven von einem mit Al_2O_3 polierten Barren wurden ausplanimetriert. Für die einzelnen Spuren ergaben sich folgende Werte:

Tab. 5 : Fläche unter den Rauhigkeitskurven in cm^2
(Oberfläche mit Al_2O_3 auf Seide bearbeitet)
Gesamtmittelwert mit Standardabweichung (M,S) (Abb. 19)

Spur 1	46,1
Spur 2	22,7
Spur 3	31,0
Spur 4	26,5
Spur 5	33,3

M = 31,92 S = 8,92 (Einstellung des Perthometers 0,5)

Die mittlere Rauhigkeit über die gesamte Spur in willkürlichen Einheiten läßt sich errechnen aus folgender Formel:

$$R = \frac{\text{planimetrierter Wert}(cm^2)}{\text{Länge der Spur (cm)}}$$

(Als Maß für die Rauhigkeit dient die Y-Auslenkung des Schreibers , die im vorliegenden Fall in cm gemessen wird.)

Es überrascht die unerwartet große Rauhigkeit der gemessenen Oberfläche. Aus Abbildung 19 ist jedoch ersichtlich, daß den Hauptbeitrag zu dieser Rauhigkeit die Poren in der Oberfläche liefern.

C_2 Ergebnisse für die mit Kugelfinierer bearbeiteten Amalgamoberflächen

Abbildung 20 zeigt eine Profil- und Rauhigkeitskurve einer mit Kugelfinierer bearbeiteten Amalgamoberfläche.

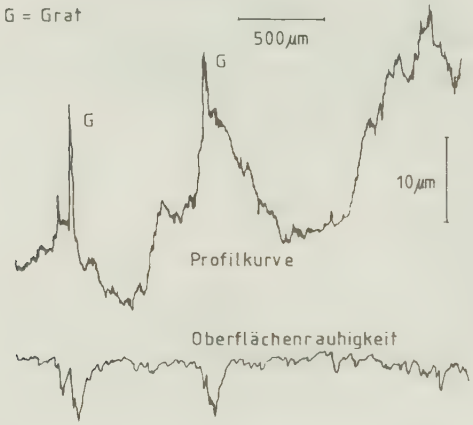

Abb. 20: Profil- und Rauhigkeitskurve einer mit Kugelfinierer bearbeiteten Amalgamoberfläche

Deutlich sind hier auf der Profilkurve Berg- und Talstrukturen zu erkennen, die durch die Oberflächenbearbeitung mit dem Kugelfinierer hervorgerufen worden sind. In der Rauhigkeitskurve wirkt sich die Grobwelligkeit nicht aus.
Die Grate zwischen den Furchen - auf der Profilkurve mit G bezeichnet - tragen deutlich zur Rauhigkeit bei.

In Tabelle 6 sind wieder die Werte für die Flächen unter den Rauhigkeitskurven zusammengestellt:

Tab. 6: Planimetrierte Rauhigkeit in cam^2
(Oberfläche mit Kugelfinierer bearbeitet)
Gesamtmittelwert mit Standardabweichung (M,S)

Spur 1	31,2
Spur 2	27,3
Spur 3	27,7
Spur 4	25,2
Spur 5	24,5

M = 27,18 S = 2,347 (Einstellung des Perthometers 0,5)

C_3 Ergebnisse für die mit Kugelpolierer bearbeiteten Amalgamoberflächen

Abbildung 21 zeigt eine Profil- und Rauhigkeitskurve einer mit Kugelpolierer bearbeiteten Amalgamoberfläche.

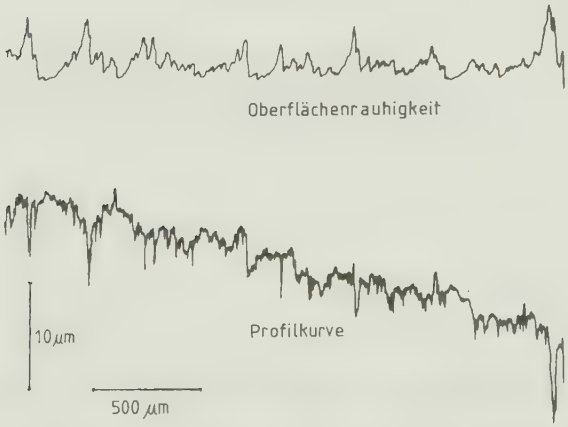

Abb. 21: Profil- und Rauhigkeitskurve einer mit Kugelpolierer bearbeiteten Amalgamoberfläche

Im Gegensatz zum Kugelfinierer weist die Oberfläche hier keine ausgeprägte Grobwelligkeit auf.
Die Rauhigkeit ist auf der gesamten Oberfläche annähernd konstant. Tabelle 7 gibt die Werte für die Flächen unter den Rauhigkeitskurven wieder.

Tab. 7: Planimetrierte Rauhigkeit in cm^2
Oberfläche mit Kugelpolierer bearbeitet)
Gesamtmittelwert mit Standardabweichung (M,S)

Spur 1	43,9
Spur 2	39,9
Spur 3	33,9
Spur 4	30,8
Spur 5	32,0

M = 36,1 S = 5,000 (Einstellung des Perthometers 0,5)

C_4 Ergebnisse für die mit Gummipolierer bearbeiteten Amalgamoberflächen

Die Profilkurve der mit dem Gummipolierer bearbeiteten Oberfläche ähnelt der mit dem Kugelpolierer bearbeiteten.

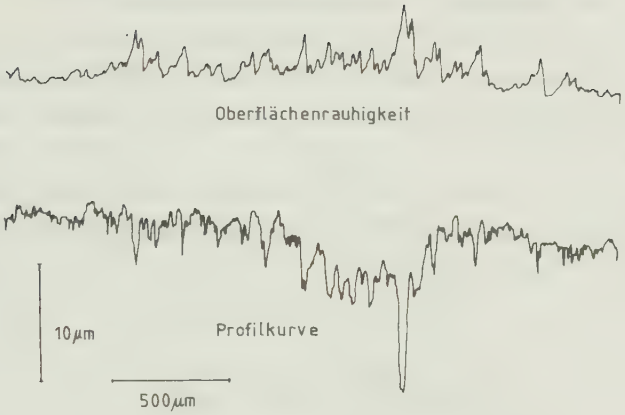

Abb. 22: Profil- und Rauhigkeitskurve einer mit Gummipolierer bearbeiteten Amalgamoberfläche

Die Auswertung der Rauhigkeitskurven (Tab. 8) zeigt einen deutlich niedrigeren Mittelwert für die Rauhigkeit. Infolge der starken Streuung der Einzelwerte ist der Unterschied jedoch nicht signifikant.

Tab. 8: Planimetrierte Rauhigkeit in cm^2
(Oberfläche mit Gummipolierer bearbeitet)
Gesamtmittelwert mit Standardabweichung (M, S)

Spur 1	27,2
Spur 2	20,7
Spur 3	40,9
Spur 4	31,1
Spur 5	25,8

M = 29,14 S = 6,757 (Einstellung des Perthometers 0,5)

C_5 Ergebnisse für die mit Wasser und Watte bearbeiteten Amalgamoberflächen

Die nur mit Wasser und Amalgam behandelte Amalgamoberfläche interessierte deshalb, weil häufig in zahnärztlichen Praxen so verfahren wird.

Große Niveauunterschiede sind auf der mit Watte und Wasser bearbeiteten Amalgamoberfläche erkennbar (man beachte den um den Faktor 5 kleineren Ordinatenmaßstab).

Abb. 23: Profil- und Rauhigkeitskurve einer mit Watte und Wasser bearbeiteten Amalgamoberfläche

Die großen Amplituden in der Profilkurve drücken sich auch in einem sehr hohen Wert für die mittlere Rauhigkeit aus (Tab. 9).

Tab. 9: Planimetrierte Rauhigkeit in cm^2
(Oberfläche mit Watte und Wasser bearbeitet)
Gesamtmittelwert mit Standardabweichung (M,S)

Spur 1	72,8
Spur 2	72,3
Spur 3	59,5
Spur 4	62,3
Spur 5	48,2

M = 63,02 S = 9,103 (Einstellung des Perthometers 2,5)

V. DISKUSSION

Im ersten Teil,der vorliegenden Arbeit ist festgestellt worden, welche Temperaturen bei verschiedenen Poliermethoden entstehen. Unsere Untersuchungen zeigen, daß mit der Politur von Amalgamfüllungen stets eine Temperaturerhöhung in der Füllung einhergeht, ganz gleich, ob mit oder ohne Spray gearbeitet wird.
Während mit Kugelfinierer und -polierer in keinem der Versuche die kritische Temperatur von 41,5°C überschritten wurde, überstieg die Temperatur bei den Gummipolierern ohne Spray fast stets diesen Wert. Diese Ergebnisse zeigen, daß bei der Politur von Füllungen stets mit Spray gearbeitet werden sollte, um eine Irritation der Pulpa zu vermeiden. Das gilt besonders bei der Verwendung von Gummipolierern, bei denen zusätzlich der mittlere Anpreßdruck durch Verlängern der Pausen beim intermittierenden Polieren erniedrigt werden sollte.

Aus den Versuchen über die Politur unter standardisierten Bedingungen geht hervor, daß der zeitliche Temperaturanstieg und die Maximaltemperatur ganz wesentlich von der Andruckkraft und der Umdrehungszahl abhängen. Mit zunehmendem Anpreßdruck steigt die Temperatur schneller an und erreicht höhere Werte. Bei Polieren mit Spray verläuft der Temperaturanstieg zunächst ähnlich dem ohne Spray, bleibt aber nach kurzer Zeit auf einem deutlich niedrigeren Niveau.
Ein Unterschied im Verlauf der Temperaturmeßkurven aus den Versuchen mit standardisiertem Andruck und dem praxisnahen Versuch (Politur durch Zahnärzte mit unterschiedlicher Berufserfahrung) ist nicht feststellbar.
Die intermittierende Politur führt zu keiner erkennbaren Temperaturänderung im Rhythmus der Andrucksschwankungen. Vielmehr wirkt sie sich wie eine Politur mit geringerer mittlerer Andruckskraft aus.

Der Vergleich von Temperaturmeßkurven aus dem praxisnahen Test und Versuchen mit standardisiertem Andruck zeigt, daß sich der mittlere Andruck bei den Versuchspersonen um 0,4 N bewegte mit Spitzen von 0,1 N und 0,9N.

Im zweiten Teil der Arbeit wurden Amalgamoberflächen auf Härte und Rauhigkeit untersucht, nachdem sie mit Kugelfinierer, Kugelpolierer oder Gummipolierer bearbeitet worden waren. Als Vergleich diente eine mit Al_2O_3 auf Seite polierte Oberfläche, deren Vickershärte bei 96,36 $\pm$ 1,24 lag.

Eine signifikante Härtesteigerung konnte nur bei der Oberflächenbearbeitung mit dem Kugelfinierer (+ 7kg/cm^2, Vertrauensgrenze 0,05) und dem Kugelpolierer (+ 10 kg/cm^2, Vertrauensgrenze 0,01) beobachtet werden. Die bei diesen Messungen auftretende kleinere Standardabweichung ist wahrscheinlich auf eine Einebnung der oberflächennahen Porositäten während des Poliervorgangs zurückzuführen. Diese Vermutung wird durch die Profilmessung bestätigt. Die in der Profilkurve erkennbaren Poren der mit Al_2O_3 auf Seide polierten Amalgamoberfläche treten bei den Proben, die mit Kugelfinierer, Kugelpolierer und Gummipolierer bearbeitet wurden, nur in abgeschwächter Form auf.

Die geringere Härte der mit Gummipolierer bearbeiteten Oberflächen weisen zusammen mit der größeren Streuung der Einzelwerte darauf hin, daß die Poren bei der Bearbeitung mit dem Gummipolierer nur oberflächlich verwischt wurden.

Signifikante Unterschiede in der mittleren Rauhigkeit der einzelnen Proben mit unterschiedlicher Verarbeitung konnten wir nicht feststellen. Aus den Profil- und Rauhigkeitskurven ist ersichtlich, daß der größte Anteil der mittleren Rauhigkeit von den Porositäten der Amalgamoberfläche herrührt. Besonders deutlich wird dieser Sachverhalt an der mit Al_2O_3 auf Seide polierten Oberfläche, die z.B. auf den Strekken s_1 und s_2 (Abbildung 19)die ungefähre Rauhigkeit null aufweist, durch die in der Profilkurve sichtbare Porosität jedoch einen mittleren Rauhigkeitswert von 159,6 cm erhält (s.S. 35).

Vergleicht man die Rauhigkeitswerte der bearbeiteten Oberflächen mit denen der nur mit Wasser und Watte bearbeiteten Proben, so zeigt sich, daß zur Verringerung der Retentionskapazität eine Oberflächenbehandlung unbedingt nötig ist. Im Hinblick auf die Retentionskapazität der bearbeiteten Oberflächen kann man jedoch unter den einzelnen Arten der Oberflächenbehandlung keine signifikanten Unterschiede erkennen.

Eine geringfügige Erhöhung der Oberflächenhärte erzeugt die Bearbeitung mit Kugelfinierer und -polierer.

Bei den von uns untersuchten Proben kam der größte Anteil der Rauhigkeit durch Inhomogenitäten im Amalgam und vor allem durch größere und kleinere Poren - zustande; daher wird die Güte der Füllungen sowohl durch die Stopftechnik als auch durch die Oberflächenbehandlung beeinflußt.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurde die Temperaturentwicklung bei verschiedenen Politurarten untersucht. Im Anschluß daran wurden Amalgamoberflächen mit drei ausgewählten Politurinstrumenten bearbeitet und die Härte und Rauhigkeit bestimmt.

Die schnellsten Temperaturanstiege ergaben sich bei der Verwendung des Gummipolierers, abhängig von der Umdrehungszahl, dem Auflagegewicht und der Zeit. Gummipolierer in Verbindung mit Spray erwies sich, bei intermittierender Arbeitsweise und geringerAuflage, als ungefährlich.

Bei der Härte und Rauhigkeitsuntersuchung zeigte sich, daß die mit Finierer und Stahlkugelpolierer bearbeiteten Amalgamoberflächen statistisch signifikant härter waren als die nur mit Al_2O_3 bearbeiteten. Die Rauhigkeitsmessung ergab ähnliche Werte bei den mit Finierer, Stahlkugelpolierer oder Gummi bearbeiteten Oberflächen.

Deshalb wäre es wünschenswert, für die Grobbearbeitung der Politur Kugelfinierer und -polierer zu verwenden; für die Feinbearbeitung Gummipolierer mit Spray, geringer Tourenzahl und Auflagegewicht, bei intermittierender Arbeitsweise.

LITERATURVERZEICHNIS

1) ALTHERR, A.
Die Fließerscheinungen an Silberamalgamen
Med. Inaug. Diss. Zürich (1956)

2) DAUME, I.J.
Strittige Fragen der konservierenden Zahnheilkunde
in amerikanischer Sicht
Deutsche zahnärztl. Z. 10,713 (1955)

3) BEYLBY, Zit. C.H. DESCH
Metallografie
Verlag S. Barth (1914)

4) M. BRADEN
Heat conduction in teeth and the effect of lining
materials
J. dent. Res. 43: 315 - 322 (1964)

5) CHARBENEAU, G.T.
A suggested technique for polishing Amalgam restorations
J. mich. State dent. Assoc. 47 : 320 - 325 (1965)

6) CHRISTENSEN, G.J. und DILTS, W.E.
Thermal change during dental polishing
J. dent. Res. 47, 690 (1968)

7) DETTO, G. und SPONHOLZ, H.
Die Bedeutung der Zusammensetzung und Verarbeitung
des Silberamalgams in der zahnärztlichen Praxis
Zahnärztl. Welt/Ref. 9, 315 (1956)

8) EICHNER, K.
Zahnärztl. Werkstoffe und ihre Verarbeitung
Dr. Alfred Hüthig, Verlag GmbH, Heidelberg (1974)

9) FISCHER, C.H. und MERTENSMEIER, L.
Vergleichende klinische und experimentelle Untersuchungen
an verschiedenen handelsüblichen Amalgamen
Deutsche Zahn-Mund-Kieferheilkunde 26, 205 (1957)

10) GRAJOWER, R., KAUFMAN, E. und RAJSTEIN, J.
Temperature in the pulp chamber during polishing
of Amalgam restorations
J. dent. Res. 53 (5): 1189 (1974)

11) GREISEL, H.B.
Der gegenwärtige Stand der Amalgamforschung in den
Vereinigten Staaten von Nordamerika
Med. Inaug. Diss. München (1950)

12) HABU, H.A.
A polarographic study on the corrosion tendency
of dental amalgam
Journ. Nehon Univ. School of Dentistry 6, No. 16 (1964)

13) HAUBEIL
Zur Technik der Amalgamfüllung
Zahnärztl. Welt, H. 22 (1954)

14) HELBIG, K.
Die Kondensationspolitur der Amalgamfüllung
Deutsches Zahnärzteblatt 626 (1958)

15) HOPKINS, H.G.
Trans. Faraday Soc. 31, 1095 (1935)

16) KNUD, DREYER, JØRGENSEN
Amalgame in der Zahnheilkunde
Carl Hanser Verlag München/Wien (1977)

17) JØRGENSEN, K.D., KANAI, S.
Structure studies of Amalgam
I Correlation between Structure and physical propperties
Acta odont. Scand. 23, 501 (1965)

18) JØRGENSEN, K.D., KANAI, S., OTANI, H.
The influence of temperature on the crushing
strength of dental Amalgams
Acta odont. Scand. 22, 547 (1964)

19) KANATAKE, T., SATO, T., HASEZAWA, T., HASEZAWA, J.
und TAKAHASHI, S.
Heat resistant properties of the dental Amalgam (Report 1)
Shikwa Gakuho 60, 11/12, 1 (1960)

20) KANTOROWICZ, G.F.
Finishing Amalgam restorations
Dent. pract. Dent. REC. 8: 64 - 69 (1957)

21) KERESZTESI, K.
Wärmeentwicklung bei der Konturierung und Politur
von Amalgamfüllungen
Zahnärztl. Praxis 17, 87 (1966)

22) LEES, C.S.
Trans. Faraday Soc. 31, 1102 (1935)

23) MITCHELL, J.A., DICKSON, G., SCHOONOVER, J.C.
X-ray diffraction studies of mercury diffusion
and surface stability of dental Amalgam
J. dent. Res. 34, 744 (1955)

24) MITCHELL, J.A., SCHOONOVER, J.C., DICKSON, G. und VOCKER, H.C.
Some factors effecting the dimensional stability of the Ag-Sp (Gp-Zn) Amalgams
J. dent. Res. 34, 273 (1955)

25) W.P.F.A.M. OMLOO, J., SCHUTHOF und J. ARENDS
Thermal analysis of dental Amalgam
J. dent. Res. 51, 1552, 10 R N 6 (1972)

26) PAFFENBARGER, G.C.
Physical properties of dental materials
1. Auflage 15 circular of the National Bureau of Standards, Washington (1942)

27) REBEL, H.H.
Konservierende Zahnheilkunde
München S. 134 - 169 (1950)

28) RIETHE, P.
Die Quintessenz der Amalgamanwendung
Berlin (1971)

29) RÖSER, O. und SCHÜBEL, F.
Der Einfluß kurzzeitiger Temperaturerhöhungen auf den flow der Amalgame
Deutsche Zahnärztl. Z. 1. Halbjahr 21, 577 (1966)

30) SAUERWEIN, F.
Die abschließende Bearbeitung der Füllungsoberfläche, in: Der kariöse Defekt im vitalen Zahn und seine Behandlung (1953)

31) SCHMIDT, G.
Über das Gefüge von Amalgamfüllungen verschiedener Zusammensetzung und Herstellung
Deutsche Zahnärztl. Z. 15, 736 (1960)

32) SCHOCH, P. und LOEBICH, O.
Porosität unserer Amalgamfüllungen
Deutsche Zahnärztl. Z. 10, 785 (1955)

33) SCHOENBECK
Zahnärztl. Werkstoffkunde (1942)

34) STRASSBURG, M. und ÖZKAN, T.
Experimentelle Untersuchungen über die Gewichts- und Oberflächenveränderungen von 70 %igem zinkfreien Silberamalgam nach Erwärmung nach normalen und extrem hohen Mundhöhlentemperaturen
Deutsche Zahnärztl. Z. 13, 1165 (1965)

35) WING, G.
The polished Amalgam surface
J. dent. Res. 44, 1411 (1965)

36) ZACH, L., COHEN, C.
Pulp responce to externally applied heat.
Oral wurg. 19: 515 - 530 (1965)

Herrn Priv. Doz. Dr. Wiedemann danke ich für die Überlassung des Themas.

Bei Herrn Prof. Dr. Naujoks bedanke ich mich für die Übernahme des Korreferates.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. Klinger für die wissenschaftliche Betreuung bei den praktischen Versuchen.

LEBENSLAUF

Am 21. Nov. 1955 kam ich als erstes Kind des Kaufmanns Rudolf Müller und seiner Ehefrau Josefine, geb. Kiechle, in Kronach zur Welt.

Von 1962 - 68 besuchte ich die Volksschule, von 1968 - 72 die Realschule und von 1972 an das Kaspar-Zeuß-Gymnasium in Kronach, das ich mit dem Zeugnis der Allgemeinen Hochschulreife am 20. Juni 1975 verließ.

Von 1975 - 81 studierte ich dann an der Bayer. Julius-Maximilians-Universität in Würzburg Zahnmedizin und erhielt nach bestandenem Staatsexamen im Februar 1981 die Approbation als Zahnärztin.

Seit Mai 1981 arbeite ich als Assistenzzahnärztin an der Klinik für Kiefer- und Gesichtschirurgie in Stuttgart.

Gertrud Müller

Dissertationsdruck
Schmitt & Meyer

Würzburg Ludwigkai 28a Tel. 7 23 80

Dissertationsdruck
Schmitt & Meyer

Würzburg Ludwigkai 28a Tel. 7 23 80